

2007 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007
Santos, SP, Brazil, September 29 to October 5, 2007
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR – ABEN

Metodologia para caracterização de dosímetros termoluminescentes (TLD-100) para dosimetria em radioterapia.

**Fonseca, G.P.¹, Furnari, L.², Yoriyaz, H.¹, Siqueira, P.T.D.¹, Rubo, R.², Poli, M.E.²
Rodrigues, L.N.¹, Antunes, P.C.G.¹**

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
gpfonseca@ipen.br
hyoriyaz@ipen.br
ptsiquei@ipen.br
pacrisguian@gmail.com

² [Serviço de Radioterapia do Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas de São Paulo.](#)
[Av. Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 255](#)
[05403-900 São Paulo, SP](#)
laurafurnari@hotmail.com
rarubo@yahoo.com.br
esmeraldapoli@hotmail.com
lnatal@ipen.br

ABSTRACT

Os dosímetros termoluminescentes (TLDs) são amplamente utilizados para medidas de dose de radiação em diversas áreas de pesquisa, especialmente onde o tamanho dos detectores são um fator importante. Em aplicações clínicas, medidas de dose usando TLDs constituem uma parte importante no processo de validação do sistema de planejamento de tratamento. Este trabalho descreve uma metodologia para caracterizar cada dosímetro. Estabelecendo um fator de calibração individual, objetivando aumentar a precisão reduzindo os deslocamentos sistemáticos devido a instabilidades térmicas, óticas e tempo de medida a fim de alcançar o nível de precisão requerido em dosimetria clínica. Em consequência os fatores individuais de calibração obtidos para cada dosímetro do grupo, reduzimos consideravelmente o desvio padrão. Uma vez que esta metodologia da caracterização de TLD é aplicada, os parâmetros clínicos importantes como a profundidade da porcentagem de dose, requerida para a calibração do sistema e outras medidas clínicas de dose podem ser obtidas com precisão da ordem de 1% a 2% usando TLDs.

I. Introdução

O uso de feixes de elétrons com energias entre 4 e 20 MeV em combinação com feixes primários de fótons, para fins terapêuticos, no tratamento de lesões pouco profundas em radioterapia tem mostrado vantagens em relação a tratamentos realizados somente com feixes de fótons, entretanto, verifica-se que em muitos centros médicos, feixes de elétrons são subutilizados principalmente pela dificuldade de se estimar corretamente as doses em regiões heterogêneas devido à complexidade do espalhamento em meios que envolvem simultaneamente ar, tecido mole e osso.

A faixa de dose entre a superfície de interesse e a profundidade onde a dose é máxima (conhecida como região de *build-up*), é a região de maior imprecisão na dosimetria clínica devido à interferência da câmara de ionização e a outros fatores de perturbação, pelo fato de estar próxima da interface ar-água, entretanto, é a região de maior relevância clínica para tratamentos com elétrons, medidas experimentais de distribuição de dose são freqüentemente necessárias nos serviços de radioterapia a fim de verificar o correto funcionamento do equipamento.

Normalmente estas medidas são realizadas com câmara de ionização, por fornecerem valor absoluto de dose. Entretanto, devido ao seu tamanho, torna-se difícil obter dados mais apurados na região de build-up, de forma que, o perfil de dose nessa região torna-se menos confiável.

Detectores de pequeno porte que possibilitam medidas mais detalhadas num espaço de alguns milímetros são necessários, sendo que o mais adequado seria o detector de diamante. Entretanto esses tipos de detectores possuem um custo muito alto. Uma alternativa mais acessível para resolver este problema é a utilização de dosímetros termoluminescentes devido ao seu tamanho reduzido e baixo custo comparadamente a outros tipos de detectores, no entanto este dosímetro pode apresentar uma variação muita grande na resposta, neste trabalho apresentamos um método de análise¹ confiável que atenua a interferência de fatores ambientais e experimentais aumentando consideravelmente a precisão dos resultados.

II. Objetivo do Trabalho

Este trabalho pretende auxiliar o aprimoramento das técnicas de radioterapia com feixes de elétrons, apresentando parâmetros clínicos mais acurados, contribuindo para um melhor planejamento do sistema de tratamento, aumentando sua eficácia.

O fluoreto de Lítio é um dosímetro termoluminescente empregado neste trabalho, TLD-100 da Harshaw. Este dosímetro é resultante² de uma fusão homogênea do fluoreto de lítio, fluoreto de magnésio e titânio, muito usado em aplicações médicas, possui densidade $2,6\text{g/cm}^3$, com número atômico efetivo bem perto do valor daquele do tecido humano², não é solúvel em água. A estrutura cristalina do material possui excesso de cargas positivas que constituem “armadilhas”^{2,3} para os elétrons, tendo boa sensibilidade a radiação.

No presente trabalho estão sendo utilizados dosímetros do tipo pastilha, os quais após passarem por um processo de selecionamento e levantada uma curva de calibração serão utilizados em medidas experimentais de perfis axiais e radiais de dose, feitas em fantasmas de água, rotineiramente realizadas no procedimento de calibração dos aceleradores no Instituto de Radioterapia do Hospital das Clínicas de São Paulo.

Esses parâmetros obtidos em conjunto com os dados fornecidos por outros integrantes do trabalho utilizando câmaras de ionização e diodos serão utilizados em uma segunda etapa do trabalho, onde pretende-se simular, através de códigos de Monte Carlo, os tratamentos realizados em centros clínicos de radioterapia para cálculo de dose absorvida.

V. Procedimento experimental

V.I Tratamento térmico

O tratamento térmico recomendado pelo fabricante (Thermal Electron-Eberline), o qual foi utilizado consiste em submeter às pastilhas a uma temperatura de $400\text{ }^\circ\text{C}$ por uma hora, e em seguida tratar os dosímetros por duas horas a uma temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$.

A mufla KONN controlada pelo programa Termosoft 2000 foi utilizada para realizar o tratamento térmico.

V.II Irradiação

Os dosímetros foram irradiados no acelerador linear VARIAN CLINAC 2100C do Hospital das Clínicas com um feixe de elétrons com energia de 9MeV em um campo de 10x10 cm² a uma distancia da fonte (DFS) de 100 cm.

Os dosímetros foram colocados entre duas placas, a inferior de 5 cm de espessura e a superior de 2 cm de espessura, ambas com 30x30 cm² de área; o material utilizado foi água sólida (C₈H₈ + 2.1%TiO₂ /densidade $\rho=1,045$ g/cm³), material com características³ muito úteis para a dosimetria clínica, conhecido como RW3 produzida pela PTW que tem uma boa similaridade com a água. O número atômico efetivo é próximo ao do tecido mole, sendo um phantom de boa reprodutibilidade, além de não apresentar um efeito significativo de carga causado pelo feixe de elétrons por ser um sólido condutor.

A irradiação é realizada em aproximadamente 24 horas após o tratamento térmico.

V.III Resposta termoluminescente

A leitura dos dosímetros foi realizada em uma leitora Harshaw modelo 3500, com exceção de três leituras realizadas em uma leitora Victoren, com o auxílio de uma digitalizadora e utilizando o programa WinREMS PL-26732.8.1.0.0. Os picos de emissão puderam ser analisados isoladamente como mostra a figura 1 onde pode ser visto claramente os picos 4 e 5 de maior intensidade e que são também os mais estáveis^{2,3}.

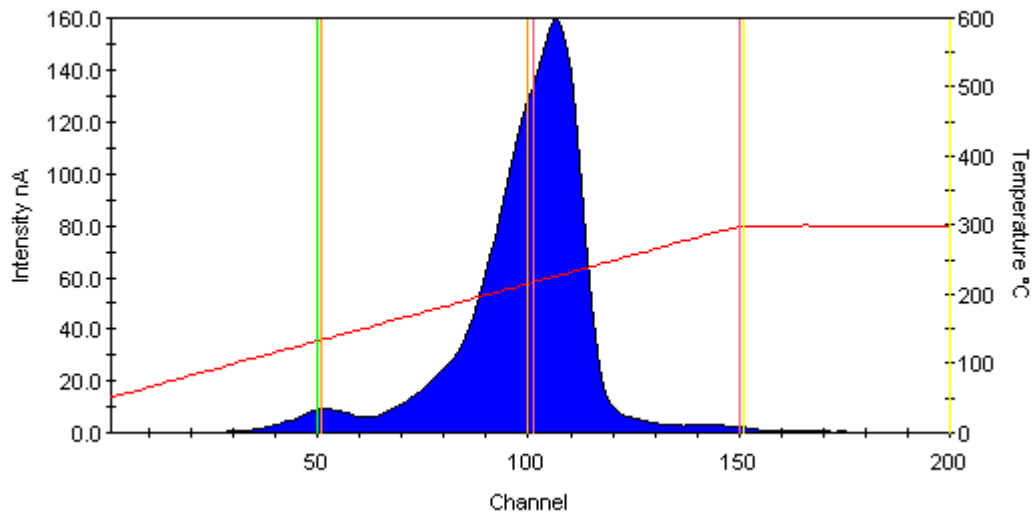


Figura 1. Resultado da Leitura de um TLD LiF-100 tipo pastilha irradiada com uma dose de 100cGy

A partir do estudo da bibliografia e de inúmeras irradiações, estabelecemos um taxa de aquecimento de 10°C/s , realizando contagens a partir da temperatura de 50 até 300°C , uma vez que nesta faixa estão compreendidos os picos mais estáveis, reduzindo assim a interferência da temperatura ambiente, e do tempo entre a irradiação e a leitura.

VI Resultados e discussões

VI.I Selecionamento

As pastilhas têm formato regular com $3 \times 3 \text{ mm}^2$ e 1 mm de espessura, a forma regular facilita o selecionamento. Os dosímetros foram irradiados oito vezes nas mesmas condições. Como todo dosímetro é numerado podemos comparar as respostas obtidas pelo dosímetro em cada leitura, calculando a variação $\Delta (I_{\text{max}} - I_{\text{min}})$. Espera-se que após algumas irradiações seja possível observar o comportamento de cada dosímetro em relação à média, estando esta variação definida calculamos um fator de correção para cada dosímetro como será discutido adiante. Os dosímetros que não apresentam esta variação definida foram

descartados uma vez que seu comportamento é oscilante, em um total de 100 dosímetros sete foram descartados, pelo método de análise^{1,4} descrito a seguir.

VI.II Análise dos dados

Foram realizadas oito irradiações no Hospital das Clínicas, cinco leituras utilizando uma leitora Harshaw modelo 3500 e três leituras utilizando uma leitora Victoren (Esta mudança foi necessária devido à quebra da leitora Harshaw). Esses dados foram analisados pelo processo^{1,4} descrito abaixo:

- As repostas dos TLD's são analisados individualmente a fim de reduzir a variação da resposta de cada TLD
- Tomamos como referência a 2ª leitura e normalizamos todas as leituras a partir desta. A figura 2 abaixo mostra a comparação das respostas dos TLD's individuais, normalizados pela leitura 2.

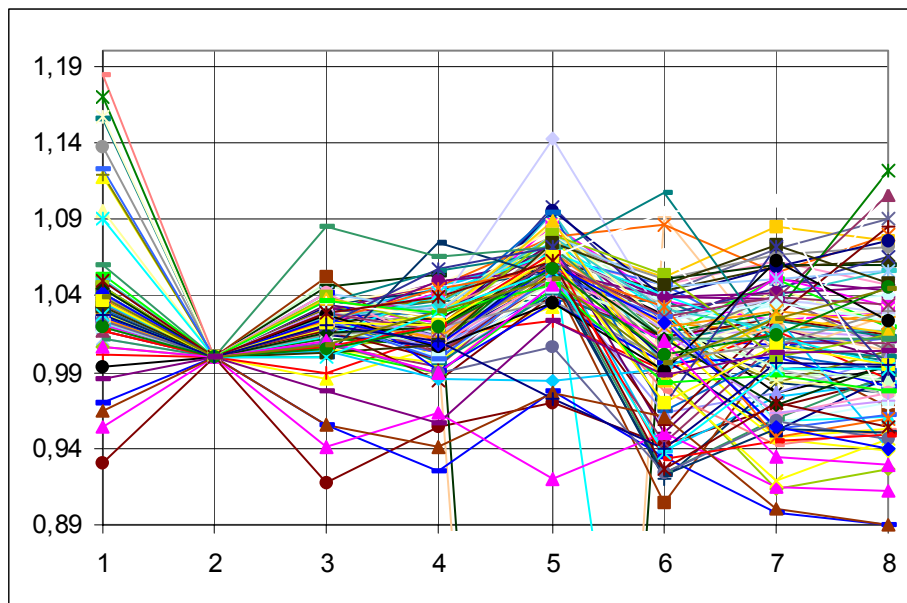


Figura 2. Variação x Leitura

- Calculamos a média das respostas de todos os TLD's em cada leitura, os resultados podem ser observados na figura 3 que mostra o valor médio da resposta dos TLDs em cada leitura.

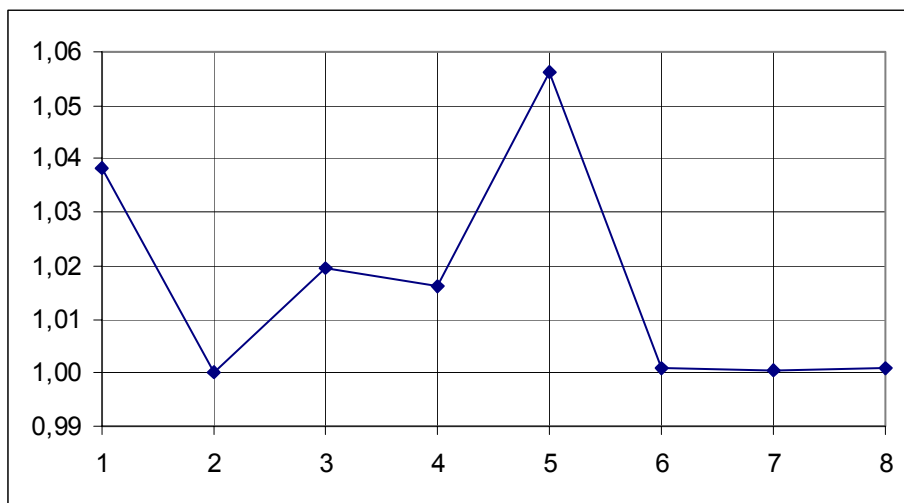


Figura 3. Média x Leitura

- Corrigindo o valor da resposta de cada TLD pela média do lote em cada leitura, obtemos uma redução na dispersão dos resultados de cada leitura conforme mostra a figura 4.

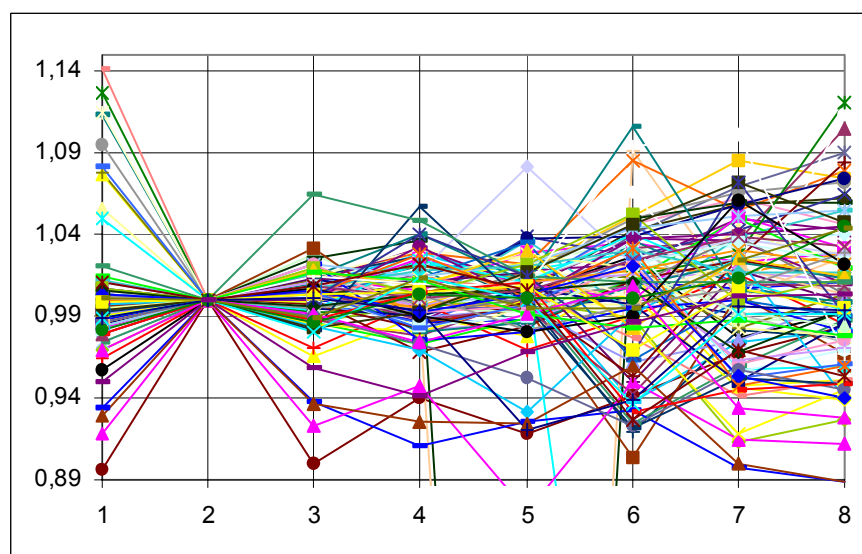


Figura 4. Variação x Leitura (após correção)

Esta análise é necessária devido as incertezas experimentais, e a difícil reprodutibilidade experimental do tratamento térmico, da irradiação e até mesmo devido à radiação ambiental, reduzindo esta incerteza. Este método só pode ser aplicado quando temos um padrão de desvio, não sendo possível corrigir problemas como a instabilidade da leitora. Podemos perceber que ao retirarmos os resultados da primeira leitura na análise realizada acima a variação das respostas é reduzida, confirmando a ocorrência de algum problema experimental nesta leitura, os três últimos resultados apresentam, maior variação, devido à utilização de uma leitora Victoren para obtenção dos dados. Esta forma de análise de dados permite, remover erros sistemáticos, provocados por variação nas condições de tratamento térmico, e variações nas condições de irradiação e leitura. Isto permite trabalhar com todo o conjunto mantendo uma incerteza abaixo do valor mínimo de precisão exigida para utilização na dosimetria médica⁵ (precisão mínima de 5%).

O fator de correção individual foi calculado a partir destes resultados.

VI.III PDP (Perfil de Dose em Profundidade)

Os dosímetros termoluminescentes foram separados em dez grupos cada um com nove dosímetros escolhidos aleatoriamente antes de cada irradiação, os grupos foram irradiados separadamente nas mesmas condições alterando apenas a profundidade, esta estabelecida pelo número de placas de água sólida, o processo foi realizado para energias de 6, 9, 12 e 15 MeV em um campo de $15 \times 15 \text{ cm}^2$

Os resultados obtidos apresentam grande precisão, com pequenas diferenças em relação aos resultados, obtidos utilizando-se câmara de ionização. No entanto é possível observar pequenas flutuações em baixas profundidades, principalmente para as energias de 12 e 15 MeV, este fato provavelmente se deve ao desvanecimento dos dosímetros e ao espalhamento eletrônico nestas profundidades, o que deve ter alterado os fatores de calibração.

Os dosímetros serão submetidos a um novo processo de calibração, a fim de verificar alterações nos fatores de calibração. As medidas experimentais de PDP serão realizadas

novamente com os dosímetros recalibrados para analisar a influencia do desvanecimento nas respostas das últimas irradiações.

Os resultados das leituras de 6, 9, 12, 15 MeV, estão dispostos nas figuras 5, 6, 7 e 8 respectivamente, analisando os dados é possível observar, um aumento crescente da dispersão dos dados em cada ponto, o que torna inevitável outro processo calibração.

As medidas foram comparadas com dados experimentais obtidos com o uso de uma câmara de ionização Markus de placas paralelas em um phantom com água, realizadas em dezembro de 2006, no acelerador linear VARIAN CLINAC 2100C do Hospital das Clínicas com um feixe de elétrons em um campo de $15 \times 15 \text{ cm}^2$, para feixes de várias energias.

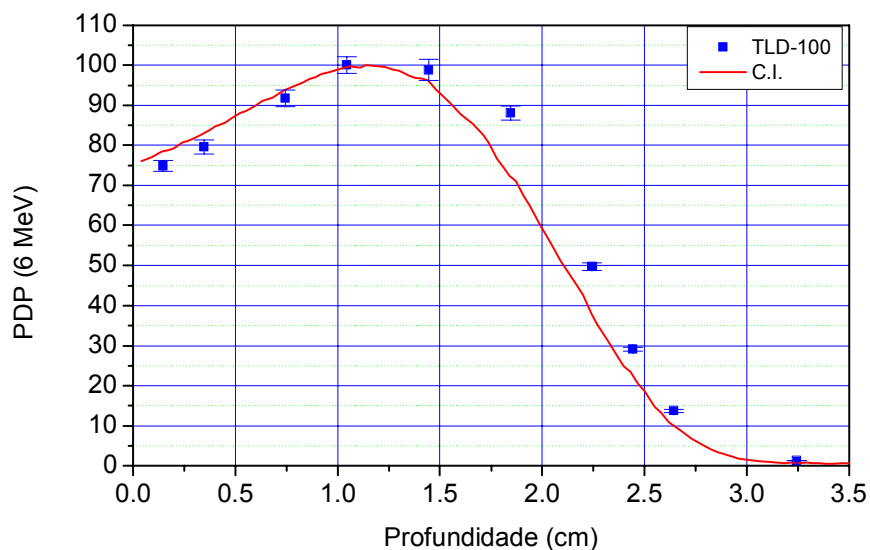


Figura 5. PDP 6MeV x Profundidade

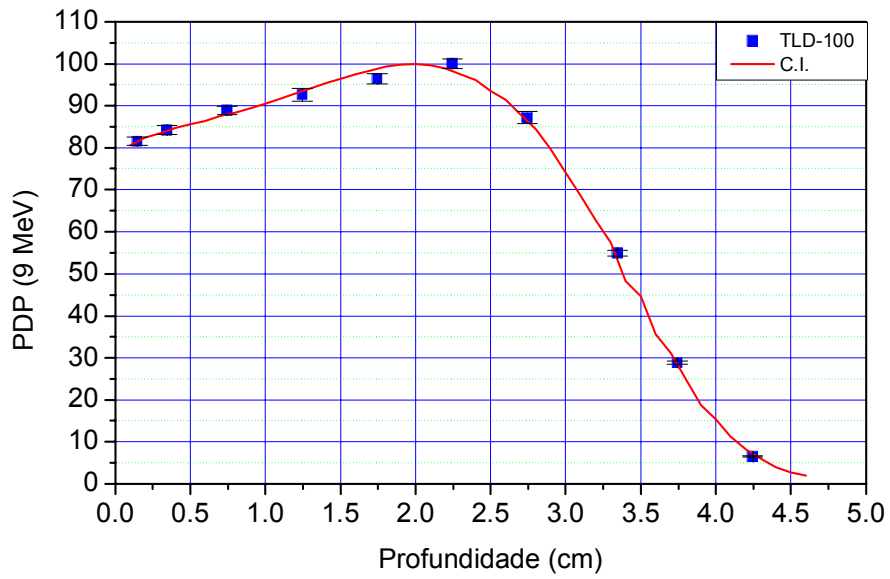


Figura 6. PDP 9MeV x Profundidade

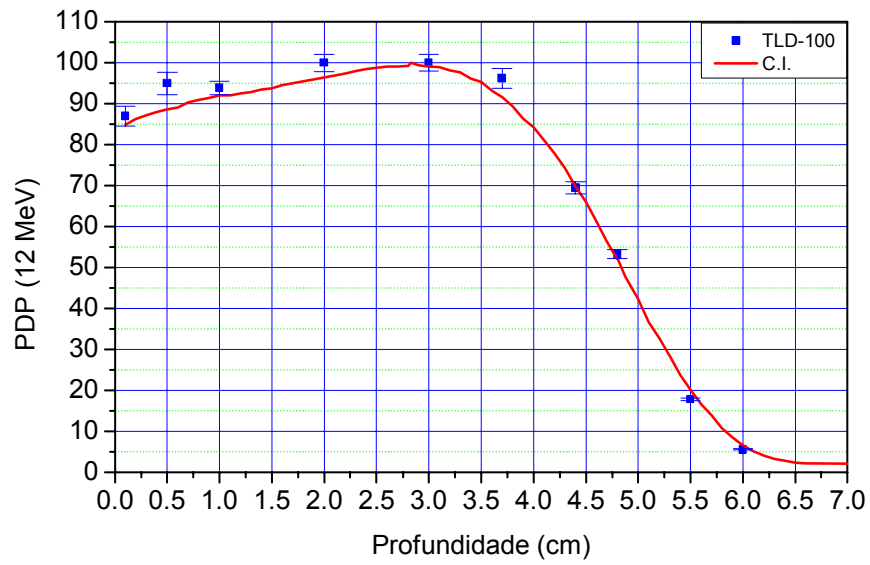


Figura 7. PDP 12 MeV x Profundidade

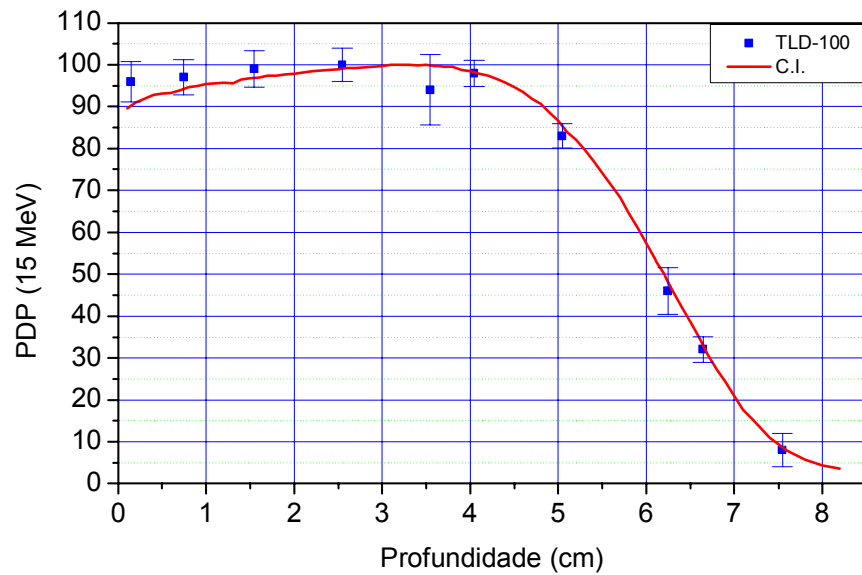


Figura 8. PDP 15MeV x Profundidade

VII Conclusão

Os resultados obtidos apresentam boa precisão demonstrando-se que é possível trabalhar em dosimetria clínica utilizando tal material, tornando um bom resultado complementar as medidas realizadas com câmaras de ionização.

O método de análise apresentado neste trabalho foi fundamental para a obtenção de tal resultado, uma vez que normalizando a partir de uma determinada leitura, conseguimos excluir fatores ambientais e humanos, analisando apenas a resposta do dosímetro, obtendo assim um fator de correção mais preciso, reduzindo o desvio das respostas. No entanto é possível observar que este fator muda devido ao desvanecimento dos dosímetros, necessitando assim de calibrações periódicas.

Uma nova calibração será feita para obtenção de novos fatores de calibração e análise das mudanças provocadas pelo desvanecimento dos dosímetros devido ao uso, pretendo assim estabelecer uma metodologia confiável para o trabalho com dosímetros termoluminescentes do tipo LiF-100 em dosimetria clínica.

VIII Referências Bibliográficas

1. U. Fill, D. Regulla, M. Sprunck, PC-Assisted Dose Assessment in Clinical TL Dosimetry and QA Programmes. GSF report D-85758. Radiation Protection Dosimetry, Vol 66, pp. 249-253. Nuclear Technology Publishing 1999
2. A. V. Marin, Desenvolvimento de um sistema dosimétrico postal para uso em programas de qualidade em radioterapia com feixes de fótons em condição de não referência, Dissertação de Mestrado. Comissão Nacional de Energia Nuclear 2003.
3. S. W. S. Mckeever, Marko Moscovitch, P. D. Townsend, Thermoluminescence Dosimetry Material: Properties and Uses, Nuclear Technology Publishing England 2005.
4. L. A. R. da Rosa, D. F Regulla, U. A. Fill. Reproducibility study of TLD-100 micro-cubes at radiotherapy dose level. Elsevier Science 1999.
5. S. C. Klevenhagem, Physics of Electron Beam Therapy,(Medical Physics Handbooks). Adam Hilger Ltd. Pp 165 1985.